

# 新编

---

# 汽车电工手册

---

马淑芝 张秀屏 侯志辉 编著

---

机械工业出版社

# 新编汽车电工手册

马淑芝 张秀屏 侯志辉 编著



机械工业出版社

本手册是由吉林工业大学从事汽车教学、科研、试验与维修工作多年的教授、专家编写,手册首先简要阐述了电工基础、电子技术等方面的基础知识,然后系统地介绍了现代汽车电气设备的构造、原理、使用与维修及常用汽车电气设备的型号、规格。该手册内容新颖、通俗易懂、理论与实践相结合,实用性强、便于自学。

本手册适合广大汽车电工及工程技术人员阅读,也可作为汽车专业大学、中专学生的教学参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

新编汽车电工手册/马淑芝等编著. —北京:机械工业出版社,1995. 12

ISBN 7-111-04836-9

I. 新… II. 马… III. ①汽车-电工-手册②汽车-电气-设备-电工-手册  
IV. ①U463. 6-62②TM-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 12247 号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄南街 1 号 邮政编码 100037)

责任编辑:高金生 版式设计:张世琴 责任校对:贾立萍

封面设计:姚 毅 责任印制:王国光

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm<sub>1</sub>/16·26.25 印张·640 千字

0 001—5 000 册

定价:35.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

## 前 言

现代汽车广泛地采用了先进的电子技术,电子化程度日趋提高。为适应汽车电子技术发展的需要,我们根据多年的实践,并较广泛地收集了先进的技术资料而编写了本书。

本手册简要地讲述了电工基础、电子技术方面的基础知识,系统地介绍了现代汽车电器、电子控制点火装置、电控汽油喷射、电子控制防抱死制动系、汽车空调、中央门锁系统等先进电子装置的构造、原理、使用与维护等。本手册具有内容新颖、通俗易懂、理论与实践相结合、实用性强等特点。

本手册第一篇由张秀屏、陸吉文编写,第二篇由马淑芝编写、第三篇由侯志辉编写。

由于时间仓促、作者水平所限,书中难免有缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

作 者

1994. 7

# 目 录

## 前 言

## 第 1 篇 基础知识

### 第 1 章 电工基础 ..... 1

#### 1 电路的基本定律、定理和计算方法 ..... 1

##### 1.1 欧姆定律 ..... 1

##### 1.2 基尔霍夫定律 ..... 2

##### 1.3 功率及焦耳-楞次定律 ..... 2

##### 1.4 电阻、电容、电感 ..... 3

##### 1.5 电源及电源的等效变换 ..... 5

##### 1.6 线性电路分析方法 ..... 7

##### 1.7 电阻的星形和三角形联结的 等效变换 ..... 9

##### 1.8 输入电阻的计算 ..... 9

##### 1.9 叠加定理 ..... 10

##### 1.10 戴维南定理和诺顿定理 ..... 11

#### 2 正弦稳态电路 ..... 12

##### 2.1 正弦量 ..... 12

##### 2.2 正弦量的相量表示法 ..... 14

##### 2.3 电阻、电感、电容电路 ..... 15

##### 2.4 正弦电流电路的功率 ..... 16

##### 2.5 正弦电流电路的谐振 ..... 17

##### 2.6 互感电路 ..... 18

#### 3 三相电路 ..... 19

##### 3.1 对称三相电源 ..... 19

##### 3.2 对称三相负载 ..... 20

##### 3.3 对称三相电路的计算 ..... 21

##### 3.4 不对称三相电路 ..... 22

##### 3.5 对称三相电路的功率 ..... 23

#### 4 非正弦周期电流电路 ..... 23

##### 4.1 周期函数分解为傅里叶级数 ..... 23

##### 4.2 非正弦周期量的有效值、 平均值和平均功率 ..... 25

##### 4.3 非正弦周期电流电路的计算 ..... 25

#### 5 一、二阶电路的瞬态分析 ..... 26

##### 5.1 初始值的确定 ..... 26

##### 5.2 一阶电路的零输入响应 ..... 27

##### 5.3 一阶电路对阶跃激励的零 状态响应 ..... 28

##### 5.4 $RL$ 串联电路对正弦激励的 零状态响应 ..... 29

##### 5.5 $RC$ 微分、积分电路 ..... 31

##### 5.6 一阶电路的全响应 ..... 31

##### 5.7 $RLC$ 电路的零输入响应 ..... 32

#### 6 磁场和磁路 ..... 33

##### 6.1 磁场的基本物理量 ..... 33

##### 6.2 磁场的基本定律 ..... 34

##### 6.3 铁磁物质的磁性能 ..... 36

##### 6.4 磁路和磁路定律 ..... 37

##### 6.5 恒定磁通磁路的计算 ..... 38

##### 6.6 交流铁心线圈和变压器的计算 ..... 39

##### 6.7 电磁铁吸力的计算 ..... 41

### 第 2 章 电子技术基础 ..... 43

#### 1 二极管、稳压管与稳压电路 ..... 43

##### 1.1 整流(检波)二极管 ..... 43

##### 1.2 稳压管及稳压电路 ..... 47

##### 1.3 常用二极管及稳压管部分型号 和主要参数 ..... 48

#### 2 晶体三极管 ..... 54

##### 2.1 晶体三极管结构、特性及参数 ..... 55

##### 2.2 晶体管放大电路的三种基本组态 ..... 58

##### 2.3 负反馈电路 ..... 59

##### 2.4 复合管 ..... 61

##### 2.5 常用晶体三极管的部分型号 和主要参数 ..... 61

#### 3 晶体管整流电路 ..... 61

#### 4 场效应晶体管 ..... 72

##### 4.1 结型场效应晶体管 ..... 72

##### 4.2 绝缘栅场效应晶体管 ..... 76

|                             |     |                                   |     |
|-----------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| 5 晶闸管及其整流电路 .....           | 80  | 9.1 DT-890 型数字万用表外形结构 .....       | 109 |
| 5.1 晶闸管的结构和工作原理 .....       | 80  | 9.2 DT-890 型数字万用表主<br>要技术特性 ..... | 110 |
| 5.2 晶闸管的伏安特性 .....          | 81  | 9.3 测量操作步骤及注意事项 .....             | 110 |
| 5.3 晶闸管的主要定额 .....          | 81  | 10 真空管电压表 .....                   | 111 |
| 5.4 可控整流电路 .....            | 83  | 10.1 GB-9 型真空管电压表主要<br>性能指标 ..... | 111 |
| 5.5 晶闸管触发电路 .....           | 91  | 10.2 使用方法 .....                   | 111 |
| 6 小型电源变压器设计与制作 .....        | 94  | <b>第 4 章 常用电工材料</b> .....         | 113 |
| 6.1 设计 .....                | 94  | 1 导电材料 .....                      | 113 |
| 6.2 核算 .....                | 96  | 1.1 导电材料的主要特性和用途 .....            | 113 |
| 6.3 制做 .....                | 97  | 1.2 电磁线 .....                     | 114 |
| <b>第 3 章 常用电工测量仪表</b> ..... | 98  | 1.3 专用绝缘电线 .....                  | 125 |
| 1 概述 .....                  | 98  | 2 磁性材料 .....                      | 127 |
| 1.1 磁电式仪表的结构与工作原理 .....     | 98  | 2.1 磁性材料的分类及性能 .....              | 127 |
| 1.2 电磁式仪表的结构与工作原理 .....     | 98  | 2.2 软磁材料 .....                    | 129 |
| 1.3 电动式仪表的结构与工作原理 .....     | 99  | 2.3 铁氧体磁性材料 .....                 | 132 |
| 2 电流表 .....                 | 99  | 3 绝缘材料 .....                      | 134 |
| 3 钳形电流表 .....               | 100 | 3.1 常用绝缘材料的分类及耐热等级 .....          | 134 |
| 4 电压表 .....                 | 101 | 3.2 电工用绝缘薄膜、复合材<br>料及粘带 .....     | 135 |
| 5 功率表 .....                 | 101 | 3.3 云母制品 .....                    | 138 |
| 6 电度表 .....                 | 104 |                                   |     |
| 7 兆欧表 .....                 | 105 |                                   |     |
| 8 万用表 .....                 | 107 |                                   |     |
| 9 数字万用表 .....               | 107 |                                   |     |

## 第 2 篇 汽车电源、起动、点火与电子控制系统

|                         |     |                      |     |
|-------------------------|-----|----------------------|-----|
| <b>第 1 章 蓄电池</b> .....  | 141 | 5 蓄电池的常见故障 .....     | 152 |
| 1 铅蓄电池的构造与工作原理 .....    | 141 | 5.1 极板硫化 .....       | 152 |
| 1.1 铅蓄电池的构造 .....       | 141 | 5.2 自放电 .....        | 153 |
| 1.2 蓄电池的工作原理 .....      | 143 | 5.3 极板短路 .....       | 153 |
| 2 蓄电池的工作特性 .....        | 144 | 5.4 极板活性物质脱落 .....   | 153 |
| 2.1 蓄电池的电动势和内阻 .....    | 144 | 6 蓄电池的充电 .....       | 154 |
| 2.2 蓄电池的放电特性 .....      | 145 | 6.1 充电的种类 .....      | 154 |
| 2.3 蓄电池的充电特性 .....      | 146 | 6.2 充电方法 .....       | 156 |
| 3 蓄电池的容量 .....          | 147 | 7 蓄电池的保养 .....       | 158 |
| 3.1 额定容量 .....          | 147 | 7.1 蓄电池技术状况的检验 ..... | 158 |
| 3.2 起动容量 .....          | 147 | 7.2 蓄电池的维护 .....     | 159 |
| 3.3 使用条件对蓄电池容量的影响 ..... | 147 | 8 蓄电池的修理 .....       | 159 |
| 4 蓄电池的型号、规格及选用 .....    | 149 | 8.1 蓄电池故障的初步诊断 ..... | 159 |
| 4.1 蓄电池型号的编制与含义 .....   | 149 | 8.2 蓄电池的解体 .....     | 160 |
| 4.2 国产蓄电池的型号与规格 .....   | 150 | 8.3 蓄电池的修复 .....     | 160 |
| 4.3 蓄电池的选型及使用 .....     | 150 | 9 免维护蓄电池 .....       | 161 |



|                          |            |                          |            |
|--------------------------|------------|--------------------------|------------|
| 9.1 免维护蓄电池的结构特点 .....    | 161        | 9.4 北京切诺基汽车用整体式          |            |
| 9.2 免维护蓄电池的优点 .....      | 162        | 交流发电机 .....              | 191        |
| 9.3 免维护蓄电池的使用 .....      | 162        | 9.5 夏利轿车用整体式交流发电机 .....  | 192        |
| 9.4 免维护蓄电池的型号及规格 .....   | 163        | 9.6 蓝鸟牌轿车用整体式交流发电机 ..... | 193        |
| <b>第2章 发电机及调节器 .....</b> | <b>165</b> | 9.7 常用整体式交流发电机产品 .....   | 193        |
| 1 交流发电机的结构 .....         | 165        | 10 交流发电机的使用 .....        | 194        |
| 1.1 普通交流发电机 .....        | 165        | 10.1 交流发电机的使用注意事项 .....  | 194        |
| 1.2 带泵交流发电机 .....        | 168        | 10.2 交流发电机充电系统常见故障 ..... | 195        |
| 2 交流发电机的工作原理 .....       | 169        | 10.3 充电系统的故障诊断 .....     | 197        |
| 2.1 三相交流电动势的产生 .....     | 169        | 11 交流发电机的检修及性能测试 .....   | 202        |
| 2.2 整流过程 .....           | 171        | 11.1 交流发电机的检修 .....      | 202        |
| 2.3 中性点电压 .....          | 171        | 11.2 调节器的检查 .....        | 205        |
| 2.4 励磁方式 .....           | 172        | 11.3 发电机与调节器的性能测试 .....  | 209        |
| 3 交流发电机的特性 .....         | 172        | <b>第3章 起动机 .....</b>     | <b>212</b> |
| 3.1 空转特性 .....           | 172        | 1 起动机的组成 .....           | 212        |
| 3.2 负载特性 .....           | 173        | 1.1 直流电动机 .....          | 212        |
| 3.3 外特性 .....            | 173        | 1.2 传动机构 .....           | 214        |
| 4 无刷交流发电机 .....          | 173        | 1.3 控制装置 .....           | 216        |
| 4.1 感应子式无刷交流发电机 .....    | 173        | 2 起动机的特性 .....           | 217        |
| 4.2 爪极式无刷交流发电机 .....     | 174        | 2.1 起动机的电磁转矩和反电动势 .....  | 217        |
| 5 交流发电机的型号及安装尺寸 .....    | 175        | 2.2 起动机的特性 .....         | 217        |
| 5.1 交流发电机的型号 .....       | 175        | 3 机械啮合式起动机 .....         | 218        |
| 5.2 交流发电机的功率等级和          |            | 4 电磁啮合式起动机 .....         | 221        |
| 安装尺寸 .....               | 176        | 5 电枢移动式起动机 .....         | 222        |
| 5.3 常用国产交流发电机的产品 .....   | 178        | 6 减速起动机和永磁起动机 .....      | 223        |
| 6 交流发电机的调节器 .....        | 179        | 6.1 减速起动机 .....          | 223        |
| 6.1 交流发电机的电压调节 .....     | 179        | 6.2 永磁起动机 .....          | 224        |
| 6.2 调节原理 .....           | 180        | 6.3 永磁减速起动机 .....        | 224        |
| 6.3 交流发电机电压调节器的种类 .....  | 180        | 7 起动机的型号与安装尺寸 .....      | 224        |
| 6.4 调节器的型号 .....         | 180        | 7.1 起动机的型号 .....         | 224        |
| 7 触点振动式电压调节器 .....       | 181        | 7.2 起动机的安装尺寸 .....       | 225        |
| 7.1 双级振动式电压调节器 .....     | 181        | 7.3 常用起动机产品 .....        | 227        |
| 7.2 具有灭弧系统的单级振动式         |            | 8 起动电路中的继电器 .....        | 228        |
| 电压调节器 .....              | 183        | 9 起动机的使用与维护 .....        | 229        |
| 7.3 具有充电指示继电器的调节器 .....  | 183        | 9.1 起动机的使用 .....         | 229        |
| 7.4 常用触点式调节器产品 .....     | 185        | 9.2 起动系统中常见故障 .....      | 229        |
| 8 晶体管电压调节器 .....         | 185        | 9.3 起动系统的故障诊断 .....      | 230        |
| 9 集成电路调节器与整体式            |            | 10 起动机的检修与性能测试 .....     | 230        |
| 交流发电机 .....              | 187        | 10.1 起动机的拆卸与解体 .....     | 230        |
| 9.1 集成电路调节器的工作原理 .....   | 188        | 10.2 起动机的检修 .....        | 233        |
| 9.2 JFZ1514 型交流发电机 ..... | 189        | 10.3 起动机的装复与调整 .....     | 238        |
| 9.3 奥迪轿车用整体式交流发电机 .....  | 189        |                          |            |

|                             |     |                          |     |
|-----------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 10.4 起动机性能测试 .....          | 238 | 能测试 .....                | 278 |
| <b>第4章 点火系</b> .....        | 240 | 11.1 点火装置的故障检查 .....     | 278 |
| 1 传统点火系的组成 .....            | 240 | 11.2 点火系性能测试 .....       | 283 |
| 2 传统点火系的工作原理 .....          | 241 | <b>第5章 微机控制系统</b> .....  | 284 |
| 3 传统点火系的工作特性 .....          | 243 | 1 微机点火控制系统 .....         | 284 |
| 3.1 发动机转速与气缸数对次级电压的影响 ..... | 243 | 1.1 微机点火控制系统的组成 .....    | 285 |
| 3.2 初级和次级电容对次级电压的影响 .....   | 244 | 1.2 微机点火控制系统的工作过程 .....  | 289 |
| 3.3 触点间隙对次级电压最大值的影响 .....   | 244 | 1.3 故障自诊断 .....          | 291 |
| 4 传统点火装置的结构 .....           | 245 | 1.4 无分电器点火系统 .....       | 293 |
| 4.1 点火线圈 .....              | 245 | 2 微机控制汽油喷射系统 .....       | 293 |
| 4.2 分电器的结构 .....            | 247 | 2.1 空燃比 .....            | 294 |
| 4.3 火花塞 .....               | 254 | 2.2 空燃比控制 .....          | 295 |
| 5 半导体点火系 .....              | 257 | 2.3 多点汽油喷射 .....         | 295 |
| 6 有触点半导体点火系 .....           | 257 | 2.4 微机控制多点汽油喷射系统 .....   | 298 |
| 7 无触点半导体点火系 .....           | 258 | 2.5 单点汽油喷射 .....         | 302 |
| 7.1 磁脉冲式无触点半导体点火装置 .....    | 258 | 3 汽车发动机集中控制 .....        | 303 |
| 7.2 光电式无触点半导体点火装置 .....     | 261 | 3.1 系统的主要功能及工作方式 .....   | 303 |
| 7.3 霍尔效应式无触点半导体点火装置 .....   | 262 | 3.2 集中控制系统的组成 .....      | 303 |
| 8 集成电路半导体点火装置 .....         | 263 | 3.3 集中控制系统的工作过程 .....    | 305 |
| 9 半导体点火系中使用的分电器 .....       | 265 | 3.4 集中控制系统的故障诊断 .....    | 305 |
| 9.1 磁脉冲式无触点分电器 .....        | 265 | 3.5 国外汽车上常用的集中控制系统 ..... | 311 |
| 9.2 霍尔效应式无触点分电器 .....       | 266 | 4 变速器的微机控制 .....         | 312 |
| 9.3 集成电路分电器 .....           | 266 | 4.1 电控自动变速器 .....        | 312 |
| 9.4 高能点火分电器 .....           | 267 | 4.2 电控机械变速器 .....        | 317 |
| 10 点火系的使用 .....             | 267 | 5 车速控制系统 .....           | 318 |
| 10.1 点火正时 .....             | 267 | 6 防抱制动控制 .....           | 320 |
| 10.2 点火系常见故障 .....          | 270 | 6.1 防抱制动系统的组成 .....      | 320 |
| 10.3 点火系故障诊断 .....          | 271 | 6.2 防抱制动系统的工作过程 .....    | 321 |
| 10.4 用示波仪诊断点火系的故障 .....     | 274 | 7 控制系统中常用的传感器和执行机构 ..... | 323 |
| 11 点火装置的故障检查与性能测试 .....     | 278 | 7.1 传感器 .....            | 323 |
|                             |     | 7.2 执行机构 .....           | 329 |

### 第3篇 汽车辅助电器、灯光与总线路

|                          |     |                       |     |
|--------------------------|-----|-----------------------|-----|
| <b>第1章 汽车的冷气系统</b> ..... | 333 | 2 汽车空调器的主要部件与功用 ..... | 334 |
| 1 汽车冷气系统的工作原理 .....      | 333 | 2.1 压缩机 .....         | 334 |
| 1.1 制冷剂饱和蒸气压曲线 .....     | 333 | 2.2 电磁离合器 .....       | 335 |
| 1.2 制冷剂的特性 .....         | 333 | 2.3 冷凝器 .....         | 336 |
| 1.3 制冷循环工作过程 .....       | 334 | 2.4 蒸发器 .....         | 336 |



|                                   |            |                              |            |
|-----------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| 2.5 贮液干燥过滤器 .....                 | 336        | 7.1 汽车荧光灯的工作原理 .....         | 359        |
| 2.6 膨胀阀 .....                     | 337        | 7.2 汽车荧光灯的故障诊断 .....         | 360        |
| 3 汽车空调器的主要控制装置 .....              | 338        | 8 电喇叭 .....                  | 360        |
| 3.1 发动机怠速自动提升装置 .....             | 338        | 8.1 电喇叭的结构与工作原理 .....        | 360        |
| 3.2 汽车空调系统转速与温度<br>控制的电路 .....    | 338        | 8.2 电喇叭的避振结构与安装 .....        | 361        |
| 4 汽车空调器的控制电路实例 .....              | 339        | 8.3 电喇叭的类型 .....             | 361        |
| 4.1 夏利轿车空调器控制电路 .....             | 339        | 8.4 电喇叭的型号及适用车型 .....        | 362        |
| 4.2 奥迪 100 型轿车空调器控制电路 .....       | 341        | 8.5 电喇叭的维护和调整 .....          | 362        |
| 4.3 尼桑轿车前空调电路 .....               | 341        | 8.6 喇叭继电器 .....              | 363        |
| 4.4 桑塔纳轿车空调电路 .....               | 343        | 9 闪光器 .....                  | 364        |
| 4.5 切诺基牌 BJ2021 型汽车<br>空调电路 ..... | 344        | 9.1 闪光器的结构与工作原理 .....        | 364        |
| 5 汽车空调器的使用与维护 .....               | 344        | 9.2 闪光器的型号 .....             | 366        |
| 5.1 空调系统的使用 .....                 | 344        | 9.3 闪光器的使用 .....             | 367        |
| 5.2 空调系统的维护 .....                 | 345        | 10 电动刮水器 .....               | 367        |
| 5.3 汽车空调器故障的诊断 .....              | 346        | 10.1 永磁电动机刮水器 .....          | 367        |
| 5.4 汽车空调系统抽真空 .....               | 348        | 10.2 上海桑塔纳轿车刮水器 .....        | 368        |
| 5.5 汽车空调系统加注制冷剂 .....             | 348        | 10.3 电动刮水器的型号和规格 .....       | 369        |
| <b>第 2 章 汽车主要仪表与其他电器 .....</b>    | <b>351</b> | 10.4 电动刮水器的使用 .....          | 370        |
| 1 电流表 .....                       | 351        | 11 中央控制电动门锁 .....            | 370        |
| 1.1 电流表的结构与工作原理 .....             | 351        | 11.1 锁制车门 .....              | 371        |
| 1.2 电流表的检验与调整 .....               | 351        | 11.2 打开车门 .....              | 371        |
| 1.3 电流表的型号、规格及适用车型 .....          | 351        | 12 车速感应式中央控制电动门锁 .....       | 371        |
| 2 水温表 .....                       | 352        | 13 电动燃油泵 .....               | 372        |
| 2.1 水温表的结构与工作原理 .....             | 352        | 13.1 电动燃油泵的结构与工作原理 .....     | 372        |
| 2.2 水温表的检验与调整 .....               | 352        | 13.2 油泵的故障诊断与维修 .....        | 372        |
| 2.3 水温表的型号、规格及适用车型 .....          | 353        | 14 化油器辅助电器 .....             | 373        |
| 3 燃油表 .....                       | 354        | 14.1 尼桑 VG30S 自动阻风阀 .....    | 373        |
| 3.1 燃油表的结构与工作原理 .....             | 354        | 14.2 尼桑 CA20S 自动阻风阀 .....    | 373        |
| 3.2 燃油表的检验 .....                  | 354        | 14.3 化油器怠速通道电磁阀 .....        | 374        |
| 3.3 燃油表的主要型号、规格及<br>适用车型 .....    | 356        | <b>第 3 章 汽车灯光与全车电路 .....</b> | <b>375</b> |
| 4 油箱存油量警告灯 .....                  | 357        | 1 汽车大灯的构造与使用 .....           | 375        |
| 5 油压表 .....                       | 357        | 1.1 汽车大灯的结构 .....            | 375        |
| 5.1 油压表的结构与工作原理 .....             | 357        | 1.2 大灯光束照射方向的调整 .....        | 376        |
| 5.2 油压表的检验与调整 .....               | 357        | 1.3 汽车灯具的型号与规格 .....         | 377        |
| 5.3 油压表的型号、规格及适用车型 .....          | 358        | 2 汽车电路原理 .....               | 381        |
| 6 发动机转速表 .....                    | 358        | 2.1 电源电路 .....               | 381        |
| 6.1 发动机转速表的工作原理 .....             | 358        | 2.2 起动机的控制电路 .....           | 383        |
| 6.2 发动机转速表的校验 .....               | 359        | 2.3 点火系电路 .....              | 383        |
| 7 汽车荧光灯 .....                     | 359        | 2.4 仪表电路 .....               | 384        |
|                                   |            | 2.5 灯光电路 .....               | 384        |
|                                   |            | 2.6 汽车总线路分析 .....            | 387        |
|                                   |            | 3 上海桑塔纳轿车电路系统解析 .....        | 390        |

|                          |     |                         |     |
|--------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 3.1 电源电路 .....           | 390 | 4.3 综合开关 .....          | 398 |
| 3.2 发动机点火系、仪表及起动电路 ..... | 390 | 4.4 汽车电系的导线 .....       | 399 |
| 3.3 灯光电路 .....           | 394 | 5 汽车电路原理图 .....         | 402 |
| 3.4 喇叭与冷却风扇 .....        | 395 | 5.1 标致(PEUGEOT)504 型汽车  |     |
| 4 点火开关、大灯开关、综合           |     | 电路原理图 .....             | 402 |
| 开关与汽车导线 .....            | 396 | 5.2 奥迪(AUDI)牌 100C3GP 型 |     |
| 4.1 点火开关 .....           | 396 | 轿车电路原理图 .....           | 402 |
| 4.2 大灯开关 .....           | 396 | 参考文献 .....              | 409 |

# 第1篇 基础知识

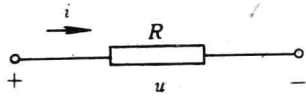
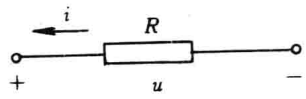
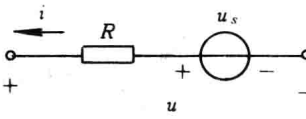
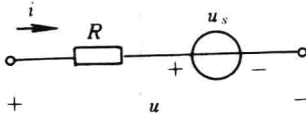
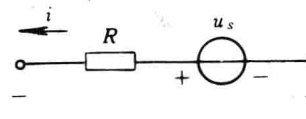
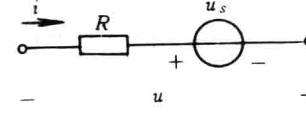
## 第1章 电工基础

### 1 电路的基本定律、定理和计算方法

#### 1.1 欧姆定律

一段无源或含源电阻支路欧姆定律的表达式见表 1.1-1。

表 1.1-1 欧姆定律

| 名 称                                                 | 电 路 图                                                                               | 公 式                                           | 备 注                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 无<br>电<br>阻<br>支<br>路<br>欧<br>姆<br>定<br>律           |   | $u = Ri$<br>或 $i = Gu$                        | 采用参考方向后, $u$ 、 $i$ 、 $u_s$ 等均是代数量, 各公式皆在指定的参考方向下得到的。<br>本书采用法定计量单位: $u$ (V)、 $i$ (A)、 $u_s$ (V)、 $R$ ( $\Omega$ )、 $G$ (S) |
|                                                     |  | $u = -Ri$<br>或 $i = -Gu$                      |                                                                                                                            |
| 含<br>源<br>电<br>阻<br>支<br>路<br>的<br>欧<br>姆<br>定<br>律 |  | $u = u_s - Ri$<br>或 $i = \frac{-u + u_s}{R}$  |                                                                                                                            |
|                                                     |  | $u = u_s + Ri$<br>或 $i = \frac{u - u_s}{R}$   |                                                                                                                            |
|                                                     |  | $u = -u_s + Ri$<br>或 $i = \frac{u + u_s}{R}$  |                                                                                                                            |
|                                                     |  | $u = -u_s - Ri$<br>或 $i = \frac{-u - u_s}{R}$ |                                                                                                                            |

## 1.2 基尔霍夫定律

在表 1.1-2 中,以图 1.1-1 所示电路为例,阐述基尔霍夫定律。

表 1.1-2 基尔霍夫定律

| 名 称                                                          | 公 式                                                                                                                                                                                                                                                                            | 备 注                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 基<br>尔<br>霍<br>夫<br>电<br>流<br>定<br>律<br><br>KCL <sup>①</sup> | $\Sigma i = 0$<br>或 $\Sigma i_0 = \Sigma i_i$<br>对图 1.1-1 中节点 A 有<br>$i_1 + i_4 - i_5 = 0$<br>或 $i_1 + i_4 = i_5$<br>对含节点 A、B、C、D 的闭合面有<br>$-i_5 + i_6 - i_7 + i_8 = 0$<br>或 $i_6 + i_8 = i_5 + i_7$                                                                           | 在集总参数电路中,任何时刻,对任一节点,所有支路电流的代数和恒等于零<br>在集总参数电路中,任何时刻,对任一节点,流出的电流之和等于流入的电流之和<br>基尔霍夫电流定律可将节点推广应用到包含有限个节点的闭合面                                                                               |
| 基<br>尔<br>霍<br>夫<br>电<br>压<br>定<br>律<br><br>KVL <sup>②</sup> | $\Sigma u = 0$<br>或 $\Sigma Ri = \Sigma u_s$<br>对图 1.1-1 中 ABCD 回路<br>$u_{AB} + u_{BC} + u_{CD} + u_{DA} = 0$<br>或 $R_1 i_1 - R_2 i_2 + R_3 i_3 - R_4 i_4 = u_{s1} - u_{s3}$<br>对跨越空间的闭合回路 ABDA 有<br>$u_{AB} + u_{BD} + u_{DA} = 0$<br>或 $u_{BD} = u_{s1} - R_1 i_1 + R_4 i_4$ | 在集总参数电路中,任何时刻,沿任一闭合回路,所有支路电压的代数和恒等于零<br>在集总参数电路中,任何时刻,沿任一闭合回路,所有电阻上电压降的代数和恒等于电源端电压的代数和<br>在第二种表达式中,电阻中电流与回路绕行方向一致时取正号,反之取负号;电源端电压 $u_s$ 与回路绕行方向相反的取正号,反之取负号<br>基尔霍夫电压定律可推广应用在任意跨越空间的闭合回路 |

① KCL 为“Kirchhoff's Current Law”的缩写。

② KVL 为“Kirchhoff's Voltage Law”的缩写。

## 1.3 功率及焦耳-楞次定律

### 1.3.1 功率

在元件的电压和电流关联参考方向下(见图 1.1-2a),元件吸收功率为

$$p(t) = u(t)i(t)$$

据此计算结果,当  $p > 0$  时,元件吸收功率;当  $p < 0$  时,元件实际上释放功率。

在元件的电压和电流非关联参考方向下(见图 1.1-2b),元件发出功率为

$$p(t) = u(t)i(t)$$

据此计算结果,当  $p > 0$  时,元件发出功率;当  $p < 0$  时,元件实际上吸收功率。

以上有关功率的讨论同样适用于任何一段电路,而不局限于一个元件。

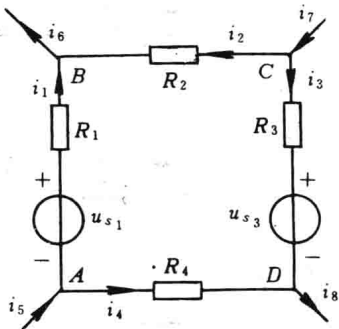


图 1.1-1 基尔霍夫定律示例

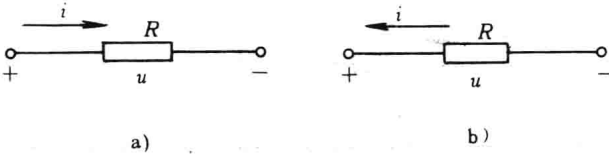


图 1.1-2 功率

法定计量单位中功率的单位为 W

### 1.3.2 焦耳-楞次定律

在电阻  $R(\Omega)$  中通过电流  $i(\text{A})$ , 经过时间  $t(\text{s})$ , 所产生的热量为

$$Q = i^2 R t (\text{J})$$

或

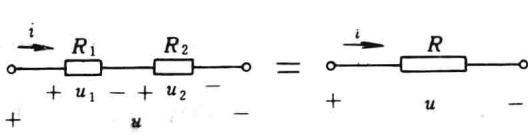
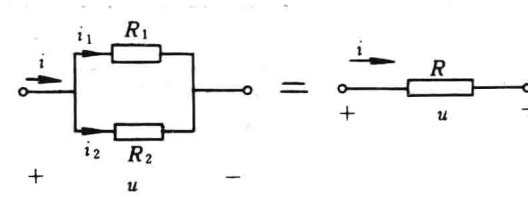
$$Q = 0.24 i^2 R t (\text{Cal})$$

## 1.4 电阻、电容、电感

### 1.4.1 线性电阻

电路中消耗电能的元件称为电阻元件, 若它在任何时刻均与其中的电压和电流无关, 则称为线性电阻元件, 用  $R$  表示, 其计算公式见表 1.1-3。

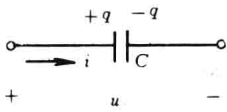
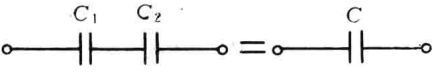
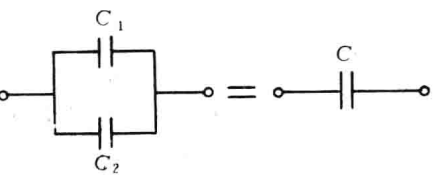
表 1.1-3 线性电阻计算公式

| 项 目        | 计 算 公 式                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 导体电阻的计算    | $R = \rho \frac{l}{S}$ <p>式中 <math>R</math>—导体的电阻(<math>\Omega</math>)<br/> <math>l</math>—导体的长度(m)<br/> <math>S</math>—导体截面积(<math>\text{m}^2</math>)<br/> <math>\rho</math>—电阻率(<math>\Omega \cdot \text{m}</math>)</p>                                                                                                    |
| 不同温度下电阻的换算 | $R_{t_2} = R_{t_1} [1 + \alpha(t_2 - t_1)]$ <p>式中 <math>R_{t_2}</math>—温度 <math>t_2</math> 时电阻值(<math>\Omega</math>)<br/> <math>R_{t_1}</math>—温度 <math>t_1</math> 时电阻值(<math>\Omega</math>)<br/> <math>\alpha</math>—电阻的温度系数(<math>1/\text{C}</math>)<br/> <math>t_1, t_2</math>—导体的温度(<math>\text{C}</math>)</p>           |
| 电阻的串联      |  $u = u_1 + u_2$ $R = R_1 + R_2$ $u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u$ $u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$                                                                                                                                          |
| 电阻的并联      |  $i = i_1 + i_2$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ 或 } G = G_1 + G_2$ $i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \text{ 或 } i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i$ $i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i \text{ 或 } i_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i$ |
| 电阻吸收功率     | $P = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R}$                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

### 1.4.2 线性电容

$C$  表示电路中储存电场能量的理想线性电容元件, 它不消耗电能, 但可以和电能或磁场能量相互转换, 线性电容的计算公式见表 1.1-4。

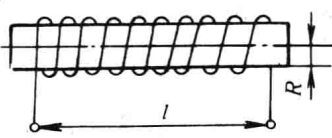
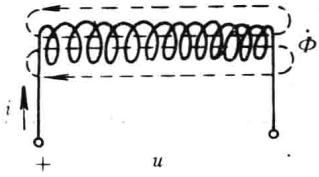
表 1.1-4 线性电容计算公式

| 项 目                                        | 计 算 公 式                                                                            |                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 平 板<br>电 容<br>器 电<br>容 的<br>计 算            | $C = \epsilon \frac{s}{d}$                                                         | 式中 $C$ —电容器的电容值(F)<br>$s$ —电容器极板面积(m <sup>2</sup> )<br>$d$ —两极板间的距离(m)<br>$\epsilon$ —介质的介电常数(F/m)                                                            |
| 电 容<br>器 上<br>电 荷、<br>电 压、<br>电 流 的<br>关 系 |   | $C = \frac{q}{u}$ $i = C \frac{du}{dt}$ $u(t) = u(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i(\xi) d\xi$<br>式中 $u$ —电容器两端的电压(V)<br>$q$ —电容器极板上的电荷(C)<br>$i$ —电容器中的电流(A) |
| 电 容<br>串 联                                 |   | $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$                                                                                 |
| 电 容<br>并 联                                 |  | $C = C_1 + C_2$                                                                                                                                               |
| 电 容<br>储 存<br>电 场<br>能 量                   | $W_c = \frac{1}{2} C u^2 (\text{J})$                                               |                                                                                                                                                               |

1.4.3 线性电感

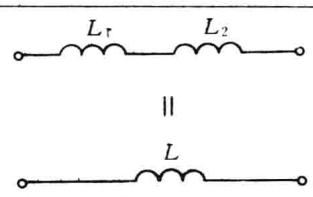
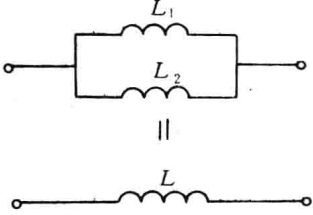
$L$  表示电路中储存磁场能量的理想线性电感元件,它不消耗电能,但可和电能或电场能量相互转换,线性电感计算公式见表 1.1-5。

表 1.1-5 线性电感计算公式

| 项 目                              | 电 路 图                                                                               | 公 式                                                       | 备 注                                                                                                        |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 长螺线<br>管 电 感<br>的 计 算            |  | $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$<br>( $\frac{l}{R} > 40$ )     | $S$ —螺线管截面积(cm <sup>2</sup> )<br>$l$ —螺线管长度(cm)<br>$N$ —螺线管匝数<br>$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-9} \text{H/cm}$ |
| 电 感 上<br>磁 链、电<br>压、电 流<br>的 关 系 |  | $L = \frac{\psi}{i}$ $u = L \frac{di}{dt}$ $\Psi = N\Phi$ | $i$ —线圈中电流(A)<br>$u$ —线圈端电压(V)<br>$\psi$ —线圈的磁链(Wb)<br>$\Phi$ —线圈的磁通(Wb)<br>$N$ —线圈的匝数                     |



(续)

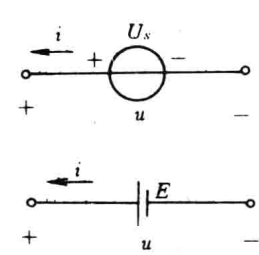
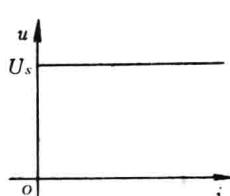
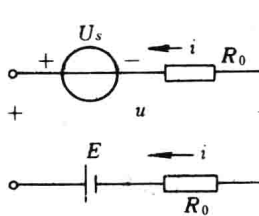
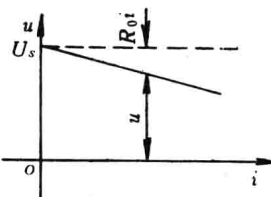
| 项 目             | 电 路 图                                                                             | 公 式                                                                  | 备 注            |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------|
| 电 感 串 联         |  | $L=L_1+L_2$                                                          | $L$ —线圈自感系数(H) |
| 电 感 并 联         |  | $\frac{1}{L}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}$ $L=\frac{L_1L_2}{L_1+L_2}$ |                |
| 电 感 储 存 磁 场 能 量 |                                                                                   | $W_L=\frac{1}{2}Li^2(\text{J})$                                      |                |

5 电源及电源的等效变换

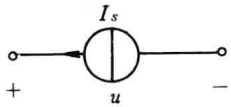
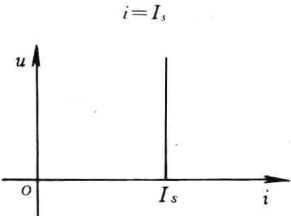
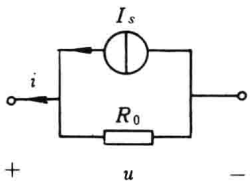
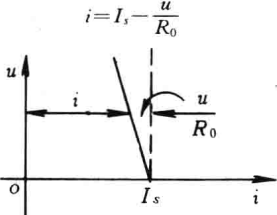
5.1 独立电源

独立电源可分为独立电压源和独立电流源,在表 1. 1-6 中只介绍恒压源和恒流源的外特

表 1. 1-6 独立电源

| 目     | 图形符号                                                                                | 外 特 性                                                                                            | 备 注                                           |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 理想恒压源 |  | $u=U_s$       | 理想电压源的端电压与外电路无关,总保持给定的时间函数(含常数)               |
| 实际恒压源 |  | $u=U_s-R_0i$  | 实际电压源内阻 $R_0$ 一般很小,故要防止电压源短路,以免产生极大的短路电流而损坏电源 |

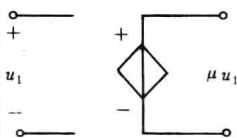
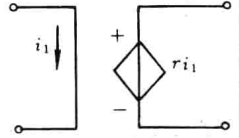
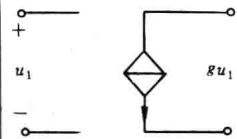
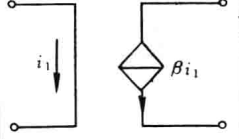
(续)

| 项 目         | 图形符号                                                                                       | 外 特 性                                                                                                       | 备 注                                                                       |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 恒<br>流<br>源 | 理想恒流源<br> |  $i = I_s$                 | 理想电流源的电流与外电路无关,总保持给定的时间函数(含常数)<br>实际电流源内阻 $R_0$ 很大,故电流源不要开路放置,以免产生极大的开路电压 |
|             | 实际恒流源<br> |  $i = I_s - \frac{u}{R_0}$ |                                                                           |

### 1.5.2 受控源

受控源有四种:电压控制电压源(VCVS)、电压控制电流源(VCCS)、电流控制电压源(CCVS)、电流控制电流源(CCCS),详见表 1.1-7。

表 1.1-7 受控源

| 名 称  | 电路模型                                                                                | 关系式             | 备 注           | 名 称  | 电路模型                                                                                 | 关系式               | 备 注                   |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| VCVS |  | $u_2 = \mu u_1$ | $\mu$ —电压放大倍数 | CCVS |  | $u_2 = r i_1$     | $r$ —转移电阻( $\Omega$ ) |
| VCCS |  | $i_2 = g u_1$   | $g$ —转移电导(S)  | CCCS |  | $i_2 = \beta i_1$ | $\beta$ —电流放大倍数       |

注: VCVS—Voltage Controlled Voltage Source;

VCCS—Voltage Controlled Current Source;

CCVS—Current Controlled Voltage Source;

CCCS—Current Controlled Current Source.

### 1.5.3 电源等效变换

电源的等效化简或等效变换,都是指对外部性能等效的角度而言,其等效变换关系式见表 1.1-8。

表 1.1-8 电源等效变换

| 项 目                              | 电 路 图 | 关 系 式                             | 备 注                             |
|----------------------------------|-------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 电 压 源<br>串 联                     |       | $u_s = u_{s1} \pm u_{s2}$         | 视 $u_{s2}$ 参考极性决定取正号或负号         |
| 电 流 源<br>并 联                     |       | $i_s = i_{s1} \pm i_{s2}$         | 视 $i_{s2}$ 参考方向决定取正号或负号         |
| 电 压 源<br>与 任 意<br>两 端 元<br>件 并 联 |       | $u = u_s$                         | 等效电压源中电流等于对外电流 $i$ 而不等于 $i_1$   |
| 电 流 源<br>与 任 意<br>两 端 元<br>件 串 联 |       | $i = i_s$                         | 等效电流源的电压等于对外电压 $u$ , 而不等于 $u_1$ |
| 实 际 电<br>压 源 电<br>流 源 等<br>效 变 换 |       | $i_s = Gu_s$<br>$G = \frac{1}{R}$ | 注意两图的参考方向, 而理想电压源或理想电流源不能实行等效变换 |

受控源可视作独立源, 按上述方法进行等效变换, 但在变换过程中控制量的大小和方向均不得改变。

## 1.6 线性电路分析方法

电路分析方法常用的有三种, 现以图 1.1-3 所示电路为例, 分析方法见表 1.1-9。

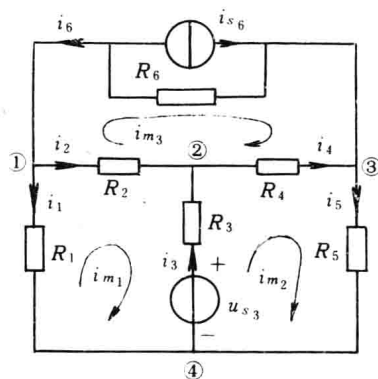


图 1.1-3 线性电路示例